

TITLE OF THE INVENTION

金型の設計方法、射出成形品の製造方法、プログラム及び射出成形装置

BACKGROUND OF THE INVENTIONField of the Invention

- 5       【0001】 本発明は、樹脂を射出成形する場合の金型の設計方法、その工程をコンピュータに実行させるプログラム、上記金型を用いて射出成形品を製造する射出成形品の製造方法及び射出成形装置に関する。

Related Background Art

- 10       【0002】 射出成形においては、製品の寸法や形状に応じて複数のゲートを設けることが必要となる。その場合、以下に示すように、複数のゲートから流入した熔融材料の流れの状態を制御することにより、必要な型締力の低減やウェルド位置制御など、成形プロセス面、製品品質面での改良を行う提案がなされている。

- 15       【0003】 例えば、日本国の特開2002-355866号公報の第2頁には、製品形状が長手方向に延びている場合、キャビティ内に熔融樹脂を射出するゲートを充填開始側から充填完了側に向けて複数配置するとともに、充填開始側のゲートの射出開始から所定の時間差にて、熔融樹脂を順次キャビティ内へ射出することにより、成形に必要な型締力を小さくする技術が記載されている。

- 20       【0004】 また、日本国の特開平8-118420号公報の第2～3頁には、第1のゲートから射出された樹脂が第2のゲートを通過するのとはほぼ同時か又は通過した後、この第2のゲートから、軟化した樹脂材料をキャビティ内に射出することにより、ウェルドの発生を防止することが記載されている。

- 25       【0005】 さらに、日本国の特開2001-277308号公報の第7～9頁には、成形品の形状を微小要素に分割し、成形品の成形プロセスの流

動シミュレーションを行ない、成形品に発生するウエルドラインの発生位置を予測する技術が開示されている。そして、予測されたウエルドラインを基に、さらにバルブゲートの開閉を調整し、これを望ましい修正位置に移動させることが記載されている。

5 SUMMARY OF THE INVENTION

【0006】 しかしながら、上記の特開2002-355866号公報の第2頁又は特開平8-118420号公報の第2～3頁に記載された方法は、ゲートからの射出の開始や、流入量の減少又は停止を行なうタイミングを判断するために、勘や経験を頼りに人手によって試行錯誤を繰り返す必要がある。また、上記の特開2001-277308号公報の第7～9頁に記載された方法では、ウエルドの全体位置を制御しているのではなく、ウエルド上の特定の一点から補正値を計算しているので、例えば、三方からの樹脂流れが合流する複雑な形状を持つウエルドを制御することは困難であった。また、これらの特許文献の方法では、予め定めたゲートの配置の条件下においてゲートを調整するものであるので、必ずしも最良の結果を得ることができなかった。

【0007】 この発明は上記のような課題に鑑み、樹脂製品を射出成形する際に、型締力やウエルド発生をより良くコントロールすることができるような金型の設計方法、射出成形品の製造方法、プログラム及び射出成形装置を提供することを目的とする。

【0008】 この発明に係る金型の設計方法は、上記の目的を達成するためになされたもので、キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、好適な射出成形条件を得ることを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを求めることを特徴とする。

【0009】 このように、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法の組み合わせを用いて、樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを求めることにより、人手による試行錯誤を繰り返すことなく、金型設計パラメータを迅速に正確に算出することができる。最適化には、好適な射出成形条件を評価する適当な評価関数を定め、これを数値解析手法によって算出して用いる。なお、射出成形とは、広く射出成形全般を指し、例えば、射出プレス成形、射出圧縮成形、発泡射出成形等も含まれる。

【0010】 金型設計パラメータとしては、金型のキャビティへの流入口であるゲートの点数及び／又はゲートの位置が好ましいが、さらに、ノズルからゲートまでの流路であるランナーの形状、径、あるいは経路、及びゲートの径、角度等を採用してもよい。

【0011】 上記の金型の設計方法の発明では、前記目的として、成形に必要な型締力を低減させることができる成形条件を得ることが挙げられる。例えば、ポリプロピレン系熱可塑性樹脂において衝撃強度に優れる材料は、熔融時の流動性が低くなる傾向にあり、製品の耐衝撃性を向上させるには、可能な限り流動性の低い樹脂を選択するのが好ましい。しかしながら、流動性の低い樹脂を流動性の高い樹脂を成形するような条件で成形すると、必要な型締力が多大となり、成形機の型締能力を超えてしまったり、装置コストやランニングコストが増大してしまう。このような樹脂であっても、数値解析手法によって成形に必要な型締力が算出され、最適化手法によってこれを低減させる成形条件を得ることができるような金型設計パラメータが探索される。これによって必要な型締力を低下させることができるので、型締能力が小さい成形機でも成形が可能となり、あるいは成形のためのエネルギーコスト等を低減させることができる。

【0012】 また、上記の金型の設計方法の発明では、前記目的として、

成形品におけるウェルドの発生を抑制又は制御することができる成形条件を得ることが挙げられる。成形品におけるウェルドの発生量や位置は、製品の外観や強度に大きく影響する。この発明においては、数値解析手法によって算出した対象区域におけるウェルド発生量を評価関数として最適化を行うことにより、ウェルドの発生を最も良く抑制又は制御することができるような金型設計パラメータが探索される。したがって、外観や強度性能の良好な製品を成形することができる。ウェルド発生量としては、例えば、ウェルドの数や長さを求めるが、計算上は、有限要素法においてウェルドが発生すると判定される節点の数、あるいはそのような連続する節点を結んだ線の長さを求める。

【0013】 また、金型の設計方法に係る発明では、ウェルドの発生を抑制又は制御する対象区域を複数の領域に区分し、これらの領域におけるウェルド発生量に重み付けをして合算したものをウェルド評価値として用いることにより、ウェルド発生を特定の領域に誘導し又は特定領域から回避する態様とすることが望ましい。複数のゲートから樹脂材料を注入する場合、ある程度のウェルド発生は避けられない。製品には、ウェルド発生が大きく製品価値に影響する領域とある程度許容できる領域がある。この態様では、ウェルド発生量を低減するとともに、前者におけるウェルド発生を避けて後者に誘導することにより、良好な製品の成形を可能とする。

【0014】 また、金型の設計方法に係る発明では、前記目的として、成形に必要な型締力の低減と成形品におけるウェルドの発生の抑制又は制御とを両立させることができる成形条件を得ることが挙げられる。この場合、最適化において複数の目的を設定することで、それぞれの目的を両立させることができるような金型設計パラメータが探索される。

【0015】 また、金型の設計方法に係る発明では、最適化のための評価関数として、成形に必要な型締力と、ウェルドの発生を評価するウェルド評

価値とを、重み付けして合算したものをを用いる態様とすることが望ましい。  
この態様では、2つの目的のバランスが重み付けにより設定される。

5       【0016】 また、金型の設計方法に係る発明では、前記金型設計パラメータが、前記金型のキャビティへの流入口であるゲートの点数及び／又はゲートの位置を含む態様とすることが望ましい。この態様では、好適な射出成形条件を得るためのゲートの配置に関するパラメータが探索される。

10       【0017】 また、金型の設計方法に係る発明では、前記金型設計パラメータが、前記金型のキャビティへの流入口であるゲートの寸法及び／又は形状を含む態様とすることが望ましい。この態様では、好適な射出成形条件を得るためのゲートの寸法・形状に関するパラメータが探索される。

15       【0018】 また、金型の設計方法に係る発明では、前記金型設計パラメータを求める際に、成形過程における樹脂流入量を設定するプロセスパラメータを同時に求める態様とすることが望ましい。この態様では、好適な射出成形条件を得るために、成形過程における樹脂流入量の設定が探索される。

20       【0019】 また、金型の設計方法に係る発明では、前記プロセスパラメータが、前記複数の樹脂流入路に配置された流入量調整弁の動作を制御するパラメータである態様とすることが望ましい。この態様では、好適な射出成形条件を得るために、複数の樹脂流入路に配置された流入量調整弁の動作を制御するパラメータが探索される。

25       【0020】 また、金型の設計方法に係る発明では、充填工程中の同時刻に少なくとも1つの流入調整弁が開いている条件の下で前記プロセスパラメータを最適化する態様とすることが望ましい。この態様では、少なくとも1つの流入調整弁が開であるような実用的な条件の下で最適なパラメータが探索される。

30       【0021】 この発明の他の態様は、キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、好適な射出成形条件を得るこ

とを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを求め、この求められた金型設計パラメータに基づいて金型を作製し、作製された金型を用いて射出成形を行なう、ことを特徴とする射出成形品の製造方法である。この発明においては、最適化によって得られた金型設計パラメータに基づいて作製した金型を用い、目的に応じた好適な射出成形条件下で射出成形を行なうことにより好適な成形結果を得ることができる。

【0022】 この発明のさらなる他の態様は、キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、好適な射出成形条件を得ることを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを求める工程を、コンピュータに実行させるプログラムである。この発明においては、人手による試行錯誤を繰り返すことなく、コンピュータによって金型設計パラメータが迅速に正確に算出される。

【0023】 また、この発明のさらなる他の態様は、キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型に前記樹脂流入路を介して樹脂材料を供給する成形機本体と、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより求められたプロセスパラメータを記憶する記憶部と、使用される金型に応じたプロセスパラメータに基づいて前記成形機本体を制御し、前記樹脂流入路から前記金型への樹脂材料の流入量を時系列的に制御しつつ射出成形を行なわせる制御部とを有することを特徴とする射出成形装置である。

【0024】 この発明においては、樹脂成分に対し、本発明の目的を損なわない範囲内で、ガラス繊維、シリカアルミナ繊維、アルミナ繊維、炭素繊維

5 維、麻、ケナフ等の植物より得られる有機繊維、合成繊維などの繊維状補強材；ホウ酸アルミニウムウイスキー、チタン酸カリウムウイスキーなどの針状の補強材；ガラスビーズ、タルク、マイカ、グラファイト、ウォラストナイト、ドロマイトなどの無機充填材；フッ素樹脂、金属石炭類などの離型改良剤；染料、顔料などの着色剤；酸化防止剤；熱安定剤；紫外線吸収剤；帯電防止剤；界面活性剤などの通常の添加剤を1種以上添加することができる。

【0025】 この発明において好適に使用される樹脂として熱可塑性樹脂がある。ここで、熱可塑性樹脂とは、一般に熱可塑性樹脂と称されるもの全てを指し、例えば、無定形ポリマー、半結晶性ポリマー、結晶性ポリマー、  
 10 液晶ポリマー等であってよい。また、熱可塑性樹脂は、一種類であってもよく、複数のポリマー成分のブレンドであってもよい。具体的には、低密度ポリエチレン、高密度ポリエチレン、ポリプロピレン、エチレンプロピレン共重合体等のオレフィン系樹脂；ポリスチレン、ハイインパクトポリスチレン、ABS樹脂等のスチレン系樹脂；ポリメチルメタクリレート等のアクリル系樹脂；  
 15 ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート等のポリエステル系樹脂；ポリカーボネート、変性ポリカーボネート等のポリカーボネート系樹脂；ポリアミド66、ポリアミド6、ポリアミド46等のポリアミド系樹脂；ポリオキシメチレンコポリマー、ポリオキシメチレンホモポリマー等のポリアセタール樹脂；ポリエーテルスルホン、  
 20 ポリエーテルイミド、熱可塑性ポリイミド、ポリエーテルケトン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリフェニレンサルファイド等のエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチック；セルロースアセテート、セルロースアセテートブチレート、エチルセルロース等のセルロース誘導体；  
 25 液晶ポリマー、液晶アロマチックポリエステル等の液晶系ポリマー；熱可塑性ポリウレタンエラストマー、熱可塑性スチレンブタジエンエラストマー、熱可塑性ポリオレフィンエラストマー、熱可塑性ポリエステルエラス

トマー、熱可塑性塩化ビニルエラストマー、熱可塑性ポリアミドエラストマー等の熱可塑性エラストマー等が挙げられる。

5      【0026】 さらに好適な樹脂材料として、ポリプロピレン系熱可塑性樹脂が挙げられる。ポリプロピレン系熱可塑性樹脂としては、ホモポリプロピレン、ポリプロピレンと他のオレフィンとのブロック共重合体またはランダム共重合体、または、これらの混合物等が挙げられる。

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

【0027】 図1は、この発明の第1の実施の形態を説明するための成形用キャビティとゲートの位置を示す図である。

10      【0028】 図2は、この発明の第1の実施の形態を説明するための成形用キャビティと樹脂流路を示す図である。

【0029】 図3は、この発明の樹脂製品の成形方法の第1の実施の形態を説明するフロー図である。

15      【0030】 図4は、この発明の樹脂製品の成形方法の第1の実施の形態におけるウエルドの制御工程を示す図である。

【0031】 図5は、この発明の第2の実施の形態を説明するための成形用キャビティとゲートの位置を示す図である。

【0032】 図6は、図5のゲートランナー部分を拡大して示す図である。

【0033】 図7Aは、図5のセンターゲート部を拡大して示す図である。

20      【0034】 図7Bは、図5のサイドゲート部を拡大して示す図である。

【0035】 図8は、この発明の樹脂製品の成形方法の第2の実施の形態を説明するフロー図である。

【0036】 図9Aは、この発明の第2の実施の形態におけるサイドゲートの移動範囲を示す図である。

25      【0037】 図9Bは、この発明の第2の実施の形態におけるウエルド評価用領域を示す図である。



【0038】 図10Aは、この発明の樹脂製品の成形方法の第2の実施の形態における初期条件のままの場合（最適化しない場合）のウェルドの制御結果を示す図である。

5      【0039】 図10Bは、この発明の樹脂製品の成形方法の第2の実施の形態における最適化を行なった場合のウェルドの制御結果を示す図である。

【0040】 図11は、この発明の射出成形装置の構成例を示す図である。

#### DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

10      【0041】 以下、図面を参照して、この発明の第1の実施の形態を詳しく説明する。この実施の形態では、図1に示すような一方向に長く延びた（縦横比＝3／16）平板状の部材を、予め決められた樹脂材料を用いて射出成形法により製造する場合を例示する。図2に示すように、キャビティCVには、平板の1つの側端の中央と左右に3つのゲート（G1, G2, G3）を配置している。この発明においては、ゲートの数は2つ以上であればよく、樹脂製品の形状や寸法に応じて適宜に設定することができる。

15      【0042】 この発明では、少なくとも1つのゲートをバルブによって開閉が可能なバルブゲートとして構成し、このバルブゲートの開度を調整することにより、ウェルドが任意の位置に来るような射出成形を行なう。この実施の形態では、図2に示すように3つのゲートのいずれもバルブゲートとして構成されているが、後述する最適化の結果として、いずれかを全開又は全閉とすることになる場合には、実機の金型にはバルブゲートは不要となる。各ゲートは、ランナーRを介してノズルNに連絡しており、ランナーRは中で樹脂が固化しないように所定の温度に制御された、いわゆるホットランナーになっている。これらのランナーRとゲートG1, G2, G3によって樹脂流入路が構成される。

25      【0043】 図11には、この実施の形態での射出成形装置の構成例を示す。この図11に示すように、射出成形装置10は、図2のノズルNから

溶融樹脂を供給する成形機本体 1 1 と、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより求められたプロセスパラメータを記憶する記憶部 1 2 と、使用される金型に応じたプロセスパラメータに基づいて成形機本体 1 1 を制御し溶融樹脂の流入量を時系列的に制御しつつ射出成形を行なわせる制御部 1 3 とを有している。

【0044】 この実施の形態では、射出成形過程を計算する数値解析と計算機支援による最適化手法の組み合わせにより、好適な成形条件を得ることができるような、樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも 1 つに関する金型設計パラメータ及び成形過程における樹脂流入量を設定するプロセスパラメータを同時に求めている。後述する第 2 の実施の形態のように、バルブゲートを用いない場合は、金型設計パラメータのみを求めれば良い。

【0045】 射出成形過程を計算する数値解析の手法としては、近年、有限要素法をベースとし、成形中において要素間に作用する関係に基づく計算式を用いて樹脂の挙動を解析するものが、実用化されてきている。この実施の形態では、MoldflowPlasticsInsight2.0rev1（商品名:Moldflow Corporation 製）を使用している。計算機支援による最適化手法も、同様に多くのものが開発されている。ここでは、ソフトウェアとして、iSIGHT 6.0（商品名:Engineous Software Inc.製）を用い、非線形性の強い問題を扱うことになるため、解空間を大域的に探索でき、局所最適解(Local Optimum)に陥る危険が少なく、大域最適値(Global Optimum)を見つけやすいとされる SA（焼きなまし法）を用いた。以下に、解析の全般の流れを、図 3 のフロー図に沿って説明する。

【0046】 （1）解析用モデルの作成

【0047】 まず、ステップ 2 において、射出成形過程における樹脂の流れを解析するための解析用モデルを作成する。この実施の形態では、以下の長尺平板モデルを用いた。

寸法：幅 1600mm、長さ 300mm、厚さ 3mm

要素数：2862、節点数：1558、サイド 3 点ゲート

ランナー径：6mmφ（ホットランナー）、ゲート：4mmφ×7.5mmL（バルブゲート）

5      **【0048】      （2）成形条件の設定**

**【0049】** ステップ 3 において、射出成形を行なうための条件設定を行なう。まず、材料として選択した樹脂の物性値等のデータを入力する必要がある。ここでは、樹脂として、ポリプロピレン系熱可塑性樹脂である住友ノーブレン NP156（商品名、住友化学工業株式会社製、短繊維 GFPP、GF30wt%）を用いている。必要な物性値としては、例えば、熱伝導率、比熱、流動停止温度、粘度等がある。

**【0050】** 他の成形条件として、樹脂温度／ホットランナー温度／金型温度を、それぞれ 230℃／230℃／50℃に設定し、射出速度は等速設定とし、射出時間が約 8 秒となるように設定した。

15      **【0051】      （3）計算機支援による最適化工程**

**【0052】** ステップ 4 から後の工程は、計算機支援による最適化工程である。すなわち、ステップ 4 において、設計変数である求めるべきパラメータ（ここではバルブゲートの開閉のタイミングとゲートの数及び位置）の初期値を設定し、ステップ 5 において、初期設定された設計変数の値に応じて解析用形状モデルの該当箇所を修正する。そして、ステップ 6 において、樹脂の流入プロセスを計算し、ステップ 7 においてその結果ファイルを出力する。そして、ステップ 8 において、その結果ファイルに基づき、型締力及びウェルド発生に関する評価関数を算出し、ステップ 9 において、その算出値が最適解に収束しているかを評価する。そして、最適解に収束していない場合は、ステップ 10 において最適化手法のアルゴリズムに基づいて設計変数を修正し、ステップ 5 からステップ 10 までの工程を繰り返す。ステップ

9において評価関数が最適解に収束していると判断された時には、最適化工程を終了する。

【0053】 最適化手法のアルゴリズムとしては、この実施の形態では、焼きなまし法を採用している。金属の焼きなましにおいては、ゆっくり冷やすことで、高い状態にあった各分子エネルギーが一様に低い状態に落ち着く。焼きなまし法はこれをモデルとしており、最適解の探索を急速に進めるのでは無く、部分的には解の改悪を許すことで解の多様性を生み出し、大域探索を可能とする手法である。最適解への収束は、所定の回数の計算を行った後に判断するようにしている。

【0054】 (4) 開閉タイミングの設定における制約条件

【0055】 この実施の形態ではバルブゲートは3つ有り、開閉タイミングはこれら全てを独立に操作することを前提としてもよい。しかしながら、これらのバルブゲートは実作業上の制約から完全に独立に操作できない場合がある。また、最適化作業をより絞った条件下で行なうことにより最適化作業を効率化することができる。そこで、以下のような制約条件を設けた。

【0056】 まず、この実施の形態では、各バルブゲートの開度自体を連続的にあるいは段階的に調整することはせず、実用性を考慮して開と閉の2位置のみを採るものとした。ホットランナー中では樹脂は固化しないから、各バルブゲートは射出成形の開始後でも閉状態で待機することができ、その後任意の時間に開動作を行なうことができる。また、一度開となって樹脂が通過したバルブゲートを閉とすることもできる。一方、一度開とした後に閉としたバルブゲートを開とすると、閉とする時間にもよるが、バルブゲートから先では樹脂の固化が進んでいる可能性があり、外観悪化等の成形不良が懸念される。従って、1つのバルブゲートの操作パターンとして考えられるのは、①常開、②常閉、③閉→開、④開→閉、⑤閉→開→閉の5パターンである。これを制約条件1aとした。また、より簡略な制約条件としては、

開→閉のパターンを用いないものが考えられる。すなわち、①常開、②常閉、③閉→開の3パターンからなるものを制約条件1 bとした。

【0057】 また、実成形上、全ゲートが同時に閉となると、ランナーやバルブゲートに異常な圧力が作用すると考えられるし、解析上もソフトウェア上の問題によりエラーが発生しやすい。その対策として、成形中、最低一つのゲートが開となっていることを制約条件2 aとした。また、より簡略な条件としては、常時特定の1つのゲートを開とすることが考えられる。これを制約条件2 bとした。

【0058】 (5) 設計変数としての開閉タイミングの設定

【0059】 制約条件1 a, 1 bのいずれかと制約条件2 a, 2 bのいずれかを組み合わせることにより、バルブゲートの動作に関して種々の制約条件が導かれる。ここでは、一番簡略な組み合わせである、1 b、2 bの組み合わせを採用した。つまり、3つのゲートのうち、常時開とするものをまず調整用ゲートとして選択し、次に、他の2つのゲートを任意制御ゲートとして、これらを開とするタイミングを独立な設定変数として、最適化を行う。この実施の形態では、ゲートG1を常時開とする場合と、ゲートG2を常時開とする場合の双方について行った。

【0060】 (6) 設計変数としてのゲート位置

【0061】 ここでは、ゲート位置のx座標を設計変数(実数)とする。ゲート部と製品部とを接合(節点を共有化)する必要があるため、移動後のゲート位置に最も近い製品部節点を算出し、その位置(修正後x座標)にゲートがくるようにゲート部全体を平行移動させた。ゲート部の移動後、ランナー部の節点を移動することにより、各ランナーを対応位置まで移動・伸縮させた。

【0062】 (7) 評価関数

【0063】 評価関数としては、この実施の形態では、(ウエルド発生+

成形に必要な型締力)を用いた。ウエルドの発生を制御することは、製品の  
 外観上あるいは製品の強度上必要なことである。また、型締力を低減させる  
 ことは、装置の小型化や、エネルギー節約、金型の保護等につながり、コス  
 トの低減を図ることができる。以下、それぞれについて説明する。

5      **【0064】**      (7-1) ウエルド発生に関する評価

**【0065】**      ①ウエルドの判定

解析モデルの各節点毎に、フローフロント合流角を計算し、これに基づい  
 て判定した。

**【0066】**      ②特定領域内のウエルド検出

10      成形品によっては特定領域内でのウエルド発生を回避(他の領域にウエル  
 ドを移動)できれば良いケースもあることから、特定領域内のウエルドのみ  
 を検出するプログラムを作成した(図4参照)。このプログラムでは、予め  
 指定された領域(製品と中心及び長手方向を同じくする長方形の領域で、  
 幅400mm×長さ100mm及び幅800mm×長さ100mmの部分)内に存在するウ  
 15      エルド発生点のみカウントし、その個数をファイルに出力する。特定領域の  
 設定は、例えば、多角形領域であれば座標値を用いた不等式等で範囲を指定  
 することができるが、領域内の全ての節点を記憶させる方法により任意の形  
 状の領域を指定することができる。

**【0067】**      (7-2) 成形に必要な型締力

20      **【0068】**      型締力は、解析ソフトによってキャビティ内の樹脂圧を算出  
 し、これに投影面積を掛けることによって求められる。

**【0069】**      (7-3) 最終的な評価関数

**【0070】**      特定領域内でのウエルド発生数(節点数)をA[個]、成形  
 に必要な型締力をB[ton]とした場合に、評価関数を、

25      評価関数 =  $A \times \delta + B$

によって与えた。 $\delta$ は重み付けの因子で、ウエルド発生を重視する場合はこ

れを大きくする。この実施の形態では、 $\delta = 1000$  とし、ウエルド発生を防止することを優先した。なお、ウエルドの評価は、前記のような発生節点数を用いるのが簡便であるが、解析モデルの節点の間隔が均一でない場合には、ウエルド長さに換算する方が好ましい。また、ウエルドの強度をも評価する場合、樹脂が合流する際の温度、圧力を加味することによってより精度の高い結果が得られる。

【0071】 (8) 最適化計算例

【0072】 図1に示すような製品を射出成形する際のゲート位置と開閉タイミングを、以下の初期条件と制約条件を設定して最適化した。

【0073】 (条件A)

ゲート G1 を常開とし、ゲート G2, G3 の開放タイミング変動の場合

制約条件： $1100 \leq x1 \leq 1500$ 、 $600 \leq x2 \leq 1000$ 、 $100 \leq x3 \leq 500$ 、

$0 \leq t2 \leq 8.0s$ 、 $0 \leq t3 \leq 8.0s$

初期条件： $x1 = 1300$ 、 $x2 = 800$ 、 $x3 = 300$ 、 $t2 = 4.0s$ 、 $t3 = 4.0s$

(条件B)

ゲート G2 を常開とし、ゲート G1, G3 の開放タイミング変動の場合

制約条件： $1100 \leq x1 \leq 1500$ 、 $600 \leq x2 \leq 1000$ 、 $100 \leq x3 \leq 500$

$0 \leq t1 \leq 8.0s$ 、 $0 \leq t3 \leq 8.0s$

初期条件： $x1 = 1300$ 、 $x2 = 800$ 、 $x3 = 300$ 、 $t1 = 4.0s$ 、 $t3 = 4.0s$

【0074】 ここにおいて、 $x1$ 、 $x2$ 、 $x3$  (mm) はそれぞれゲート G1、ゲート G2、ゲート G3 の  $x$  座標、 $t1$ 、 $t2$ 、 $t3$  (秒) はそれぞれ射出開始を 0 (秒) としたゲート G1、ゲート G2、ゲート G3 の開放のタイミングである。

【0075】 結果を、表1及び表2に示す。

[表 1]

条 件	ゲート位置 (x 座標) [mm]			ゲート開放 タイミング*1 [s]			ウェルド発生数 (節点数)			型締力 [ton]	備考
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	全領域 1800 <sup>W</sup> ×300 <sup>L</sup>	中央部 1 400 <sup>W</sup> ×100 <sup>L</sup>	中央部 2 800 <sup>W</sup> ×100 <sup>L</sup>		
①				○	×	×	0	0	0	2540	1 点ゲート
②				○	△	△	0	0	0	1660	カスケード
③	1300	800	300	○	×	○	18	6	6	1010	2 点ゲート
④	(ゲート位置固定)			○	○	○	18	0	4	1140	3 点ゲート
⑤ *2				○	0.7	4.0	14	0	2	1100	バルブ制御
A	1220	800	100	○	5.4	1.1	14	0	0	760	ゲート移動 + バルブ制御
	(ゲート位置移動) 最適化後										

\* 1・・・○：常開、×：常閉、△：フローフロント到達以降開放（カスケード制御）

\* 2・・・中央部 1 でのウェルド発生回避条件下でのゲート開放タイミングの最適結果



[表 2]

条 件	ゲート位置 (x 座標) [mm]			ゲート開放 タイミング*1 [s]			ウェルド発生数 (節点数)			型締力 [ton]	備 考
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	全領域 1800 <sup>W</sup> ×300 <sup>L</sup>	中央部 1 400 <sup>W</sup> ×100 <sup>L</sup>	中央部 2 800 <sup>W</sup> ×100 <sup>L</sup>		
⑥				×	○	×	0	0	0	1310	1 点ゲート
⑦	1300	800	300	△	○	△	0	0	0	1160	カスケード
④	(ゲート位置固定)			○	○	○	18	0	4	1140	3 点ゲート
⑧ *2				4.5	○	3.1	10	0	0	1130	バルブ制御
B	1500	800	120	0.5	○	3.4	18	0	0	1070	ゲート移動 + バルブ制御

\* 1・・・○：常開、×：常閉、△：フローフロント到達以降開放（カスケード制御）

\* 2・・・中央部 1 でのウェルド発生回避条件下でのゲート開放タイミングの最適結果

## 【0076】 (9) 検討結果

【0077】 これらの表において、①～⑧は従来の方法によるもので、い  
 5 ずれもゲートの位置は固定している。ゲート開放タイミングに関しては、①、  
 ⑥は一点ゲートの場合、②、⑦は最初に開となったゲートから流入した樹脂

が他のゲートに到達した時に他のゲートを開とする、いわゆるカスケード制御の場合、③は常開の二点ゲートの場合、④は常開の三点ゲートの場合である。最適化を行ったのは、⑤、⑧であるが、これらで、実施の形態である条件A、Bよりは狭い領域である中央部1でのウエルド回避を目的とし、ゲートの開放タイミングだけを最適化している。これらの結果では、製品の中央部2におけるウエルド発生数が0で、かつ型締力が低いような成形条件は得られなかった。

【0078】 一方、この発明の実施の形態では、ゲート位置とゲート開放タイミングを制御することにより、所望の領域（中央部2）におけるウエルド発生を抑制しつつ型締力を低レベルに維持することが可能となった。特に、条件Aの場合において、前半は両側のゲートG1、G3から注入し、中央のゲートG2を成形の後半に開くことによって、ウエルドを抑制しつつ型締力を低下させることができた。従って、この方法によって製品の形状と成形過程を考慮した金型を設計することができ、またそのような設計結果を用いた実用的な成形方法を提供することができる。

【0079】 なお、上の実施の形態では、ウエルド発生を抑制する領域を1箇所のみとしたが、複数に分散した領域の場合でも評価関数をそれぞれの発生数の和として構築することにより同様に扱うことができる。また、以下の第2の実施の形態のように、領域ごとにそれぞれに重みを付けた和とすることにより、重要度の異なる複数の領域を取り扱うこともできる。このように領域ごとにウエルドの発生を制御することにより、ウエルドの発生位置をより細かく制御することができる。

【0080】 以下、この発明の第2の実施の形態を説明する。この実施の形態では、図5に示すように、内部に開口部がある正方形に近い台形（縦横比＝8／10）平板状の部材を、射出成形法により製造する場合を例示する。図5および図6に示すように、キャビティCVには、平板の中央部に第1の

ゲート（センターゲート）G4 を配置し、それと開口部を挟んだ1つの辺上に第2のゲート（サイドゲート）G5 を配置している。

【0081】 この実施の形態では、いずれのゲートもバルブゲートではなく、常開の通常のゲートで、これらのゲートの寸法や位置を設計変数として最適化を行った。センターゲート G4 はキャビティ CV に対して直交するように形成され、サイドゲート G5 はキャビティ CV と同一の面内において辺と直交する方向に形成されている。図 7 A に示すように、センターゲート G4 は、ホットランナーHR の先端がより小径のスプルーSR を介してキャビティ CV に接続されて構成されている。この実施の形態では、スプルーSR はホットランナーHR 側からキャビティ CV 側に向かって拡張するテーパが形成されている。また、サイドゲート G5 は、図 7 B に示すように、ホットランナーHR の先にテーパ付きスプルーSR が形成され、その先端はキャビティ CV の面に沿って屈曲するコールドランナーCR であり、その先端に断面が長方形のランド部 LD が形成されて構成されている。ホットランナーHR は、中で樹脂が固化しないように所定の温度に制御されており、一方、スプルーSR 以降は金型と同じ融点以下の温度である。これらのホットランナーHR、及びスプルーSR、コールドランナーCR、ランド部 LD を含むゲート G4、G5 によって樹脂流入路が構成される。

【0082】 この実施の形態では、バルブゲートを用いていないので、成形過程において変化するようなプロセスパラメータは設計変数とせず、射出成形過程を計算する数値解析と計算機支援による最適化手法の組み合わせにより、好適な成形条件を得ることができるような、樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータのみを求める。射出成形過程を計算する数値解析には、Moldflow Plastics Insight 2.0 rev1（商品名：Moldflow Corporation 製）を用い、計算機支援による最適化のソフトウェアとして、iSIGHT 6.0（商品名：Engineous

Software Inc.製)を、最適化手法としてSA(焼きなまし法)を用いた。  
以下に、解析の流れを、図8のフロー図に沿って説明する。

【0083】 (1) 解析用モデルの作成

【0084】 まず、ステップ22では、以下の平板モデルを解析用モデル  
5 として作成した。

寸法：幅1000mm、長さ800mm、厚さ2.0～3.5mm

開口部：幅400mm、長さ100mm

要素数：8136、節点数：4053

ゲート：センター及びサイドの2点ゲート

10 ランナー径：16mmφ(ホットランナー部)、8mmφ(コールドランナー部)

サイドゲートランド形状：断面長方形、長さ10mm

センターゲート形状：4.8mmφ(先端)→8.0mmφ(製品部)

【0085】 (2) 成形条件の設定

15 【0086】 ステップ23において、射出成形を行なうための条件設定を行なう。まず、材料として選択した樹脂の物性値等のデータを入力する必要がある。ここでは、樹脂として、ポリプロピレン系熱可塑性樹脂である住友ノーブレンAZ564(商品名、住友化学工業株式会社製)を用いている。必要な物性値としては、例えば、熱伝導率、比熱、流動停止温度、粘度等がある。他の成形条件として、樹脂温度/ホットランナー温度/金型温度を、そ  
20 れぞれ210℃/210℃/40℃に設定し、射出速度は等速設定とし、射出時間が約2秒となるように設定した。

【0087】 (3) 計算機支援による最適化工程

25 【0088】 ステップ24から後の工程では、ステップ24において、設計変数(サイドゲートG5位置および両ゲートの寸法)の初期値を設定し、ステップ25において、設定された初期値に応じて解析用形状モデルを修正し、ステップ26において、樹脂の流入プロセスを計算し、ステップ27に

においてその結果ファイルを出力する。そして、ステップ 28 において、その結果ファイルに基づき、型締力及びウエルド発生に関する評価関数を算出し、ステップ 29 において、その算出値が最適解に収束しているかを評価する。そして、最適解に収束していない場合には、ステップ 30 において最適化手法のアルゴリズムに基づいて設計変数を修正し、ステップ 25 からステップ 30 までの工程を繰り返す。ステップ 29 において評価関数が最適解に収束していると判断された時には、最適化工程を終了する。

#### 【0089】 (4) 設計変数

【0090】 ここでは、2つのゲートに関する以下のパラメータを設計変数とした。

①サイドゲート G5 のキャビティ CV の下辺上での位置、図 5 中、左下端を原点とした  $x$  座標 ( $s_x$ ) であり、これが変化すると、サイドゲート G5 は、図 9 A に示すように移動する。

②サイドゲート G5 のランド幅 ( $s_w$ )

③サイドゲート G5 のランド厚み ( $s_t$ )

④サイドゲート G5 のコールドランナー径 ( $s_d$ )

⑤センターゲート G4 のゲート径 ( $c_d$ )

#### 【0091】 (5) 評価関数

【0092】 評価関数としては、先の実施の形態と同様に、射出成形解析より得られる型締力とウエルド評価値の合成和であるが、この実施の形態では、開口部周囲に発生するウエルドを特定の領域に誘導することを目的としている。すなわち、図 9 B に示すように、成形体の開口部の周辺の区域を、それぞれが同じ長さの開口縁を持つように 20 の領域に区画した。これらは、開口部の辺に位置する領域 (1、3~9、11、13~19) と、四隅に位置する領域 (2、10、12、20) に分類される。それぞれの領域毎に重み付け係数を設定し、各領域で検出されたウエルド発生数と重み付け係数の積の総和と

してウェルド評価値を定義した。重み付け係数は、ウェルドを発生させたい領域の係数を 1、その領域から最も離れた領域の係数を 2500 とし、各領域に 1～2500 の係数をステップ状に与えた。

$$\text{ウェルド評価値} = \sum A_s * W_s$$

- 5       $s$  : 開口部周辺の領域ナンバー ( $s=1\sim 20$ )、 $A_s$  : 各領域の重み付け係数  
 $W_s$  : 各領域で発生したウェルド数 (節点数)

全体の評価関数は、上記ウェルド評価値と、成形に必要な型締力 [ton] との和として与えた。

$$\text{評価関数} = \text{ウェルド評価値} + \text{型締力}$$

# 10      【0093】      (6) 最適化計算例

【0094】      上記の設定のもとで、以下の初期条件と制約条件および重み付けを設定して最適化した。

初期条件 [mm] ・ ・  $s_x=400$ 、 $s_w=5$ 、 $s_t=1$ 、 $s_d=8$ 、 $c_d=8$

制約条件 [mm] ・ ・  $300 \leq s_x \leq 700$ 、 $3 \leq s_w \leq 15$ 、 $1 \leq s_t \leq 3$ 、 $4 \leq s_d \leq 12$ 、  
 15       $4 \leq c_d \leq 12$

【0095】      重み付けについては、ウェルドを領域 10、20 へ誘導するために、それぞれの領域の重み付け係数  $A_s$  を、以下のように与えた。

$A_{10}$ ,  $A_{20}$       ・ ・      1

$A_1$ ,  $A_9$ ,  $A_{11}$ ,  $A_{19}$       ・ ・      500

20       $A_2$ ,  $A_8$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{18}$       ・ ・      1000

$A_3$ ,  $A_7$ ,  $A_{13}$ ,  $A_{17}$       ・ ・      1500

$A_4$ ,  $A_6$ ,  $A_{14}$ ,  $A_{16}$       ・ ・      2000

$A_5$ ,  $A_{15}$       ・ ・      2500

結果を、表 3、図 10A 及び図 10B に示す。

25

[表 3]

	単位	初期値	最適化結果
サイドゲート ゲート位置(sx)	[mm]	400	471
サイドゲート ランド幅(sw)	[mm]	5.0	7.5
サイドゲート ランド厚み(st)	[mm]	1.0	1.7
サイドゲートコールドランナー径(sd)	[mm]	8.0	11.0
センターゲート ゲート径(cd)	[mm]	8.0	8.1
型締力	[ton]	1532	857
ウェルド評価値	[-]	10008	4
評価関数	[-]	11540	861

【0096】 図10Aには初期条件のままの結果が示され、図10Bには最適化の結果が示されている。前者では、領域10、20以外の場所にウェルドWDが発生しているが、後者では、領域20に短い長さのものが存在しているのみである。この実施の形態では左側のウェルドWDを領域20内に発生させたまま、右側のウェルドWDを領域10内へ移動させることを目的としていたが、右側のウェルド発生位置を領域10方向に移動させる過程の中で、右側のウェルドが消失する結果となった。この結果を見ると、ゲート位置とゲート・ランナー径を同時に最適化することにより、領域10、20以外でのウェルド発生を無くし、型締力を初期の6割以下まで低減することができたことが分かる。

【0097】 なお、上記の実施の形態では、追加的な評価関数として型締力を採用したが、個々の条件に応じて適宜のパラメータを評価関数として採用することができる。また、この実施の形態では、評価関数を複数の要素評価関数の和として構築したが、状況に応じた適宜の演算式を用いることができる。

- 【0098】 以上説明したように、この発明によれば、樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを、人手による試行錯誤を繰り返すことなく、迅速に正確に算出することができるので、任意の形状の樹脂製品を射出成形する場合でも、ウェルド発生の制御や型締力の低減などを達成できるような金型設計結果を得ることができる。そして、
- 5 このような設計結果を用いることにより、使用目的に応じた良好な性能を持つ製品を、装置や作業コストの低減を図りつつ成形することができる。



What is claimed is:

1. キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、

5 好適な射出成形条件を得ることを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも1つに関する金型設計パラメータを求めることを特徴とする金型の設計方法。

2. 前記目的は、成形に必要な型締力を低減させることができる成形条件を得ることであることを特徴とするクレーム1に記載の金型の設計方法。

10 3. 前記目的は、成形品におけるウエルドの発生を抑制又は制御することができる成形条件を得ることであることを特徴とするクレーム1に記載の金型の設計方法。

4. ウエルドの発生を抑制又は制御する対象区域を複数の領域に区分し、これらの領域におけるウエルド発生量に重み付けをして合算したものをウエルド評価値として用いることにより、ウエルド発生を特定の領域に誘導し又は特定領域から回避することを特徴とするクレーム3に記載の金型の設計方法。

5. 前記目的は、成形に必要な型締力の低減と、成形品におけるウエルドの発生を抑制又は制御とを両立させることができる成形条件を得ることであることを特徴とするクレーム1に記載の金型の設計方法。

6. 最適化のための評価関数として、成形に必要な型締力と、ウエルドの発生を評価するウエルド評価値とを、重み付けして合算したものをを用いることを特徴とするクレーム5に記載の金型の設計方法。

25 7. 前記金型設計パラメータは、前記金型のキャビティへの流入口であるゲートの点数及び／又はゲートの位置を含むことを特徴とするクレーム1に記載の金型の設計方法。

8. 前記金型設計パラメータは、前記金型のキャビティへの流入口であるゲートの寸法及び／又は形状を含むことを特徴とするクレーム 1 に記載の金型の設計方法。

5 9. 前記金型設計パラメータを求める際に、成形過程における樹脂流入量を設定するプロセスパラメータを同時に求めることを特徴とするクレーム 1 に記載の金型の設計方法。

10 10. 前記プロセスパラメータは、前記複数の樹脂流入路に配置された流入量調整弁の動作を制御するパラメータであることを特徴とするクレーム 9 に記載の金型の設計方法。

10 11. 充填工程中の同時刻に少なくとも 1 つの流入調整弁が開いている条件の下で前記プロセスパラメータを最適化することを特徴とするクレーム 10 に記載の金型の設計方法。

12. キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、

15 好適な射出成形条件を得ることを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも 1 つに関する金型設計パラメータを求め、

20 この求められた金型設計パラメータに基づいて金型を作製し、  
作製された金型を用いて射出成形を行なう、  
ことを特徴とする射出成形品の製造方法。

25 13. キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、好適な射出成形条件を得ることを目的として、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより、前記樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも 1 つに関する金型設計パラメータを求める工程を、コンピュータに実行させるプログラム。

1 4. キャビティへの複数の樹脂流入路を有する金型に前記樹脂流入路を介して樹脂材料を供給する成形機本体と、

射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法との組み合わせにより求められたプロセスパラメータを記憶する記憶部と、

- 5 使用される金型に応じたプロセスパラメータに基づいて前記成形機本体を制御し、前記樹脂流入路から前記金型への樹脂材料の流入量を時系列的に制御しつつ射出成形を行なわせる制御部と、
- を有することを特徴とする射出成形装置。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

本発明は、樹脂製品を射出成形する際に、型締力やウエルド発生をより良くコントロールすることができるような金型の設計方法及び射出成形品の製造方法を提供することを目的とする。キャビティ CV への複数の樹脂流入路 G1, G2, G3, R を有する金型を用いて射出成形を行なう場合に、好適な射出成形条件を得ることを目的として、樹脂流入路の配置、形状及び寸法の少なくとも 1 つに関する金型設計パラメータを、射出成形過程を計算する数値解析手法と計算機支援による最適化手法の組み合わせにより求める。これにより、人手による試行錯誤を繰り返すことなく、金型設計パラメータを迅速に正確に算出することができる。